

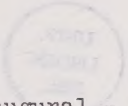
**Untersuchung über den Verschleiß
der SAM-Condylarbahnteile und den
damit verbundenen Verlust an Präzision**

Claus Scheingraber

1977

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
der Universität München
Direktor: Prof.Dr. Ewald Kraft

Untersuchung über den Verschleiß der SAM-Condylar-
bahnteile und den damit verbundenen Verlust an
Präzision



Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt
von

Claus Scheingraber aus München

München
1977

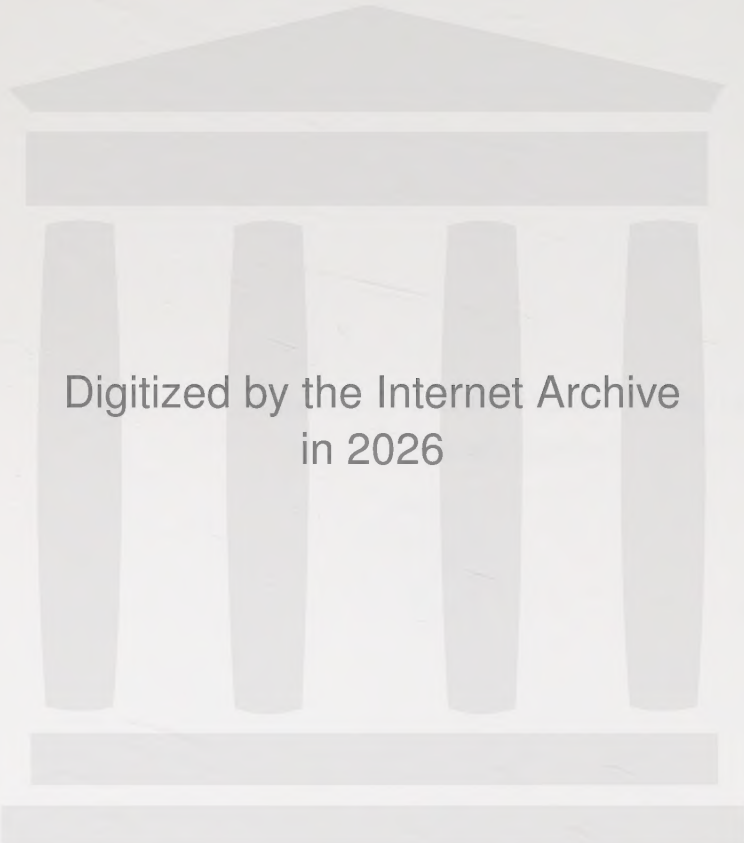
Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München



Berichterstatter:	Prof.Dr.Dr.P. Fuchs
Mitberichterstatter:	Prof.Dr.E. Kraft
Dekan:	Prof.Dr.W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Dezember 1977

Meinen Eltern gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555616_0072

Inhaltsverzeichnis

A) Einleitung

B) Problemstellung und Zielsetzung

c) Experimenteller Teil

1. Material und physikalische Werte
2. Messartikulator
3. Vorversuch zur Ermittlung der Abriebskräfte
4. Rauhtiefenvergleich der Versuchsteile
5. Vorbehandlung der Versuchsteile
6. Richtlinien zur Versuchsdurchführung
7. Messanordnung
8. Abriebsmaschine
9. Versuchsüberwachung
10. Ergebnisse

D) Diskussion

E) Zusammenfassung

F) Bildmaterial und Diagramme

G) Literatur

Einleitung:

Funktionsanalytische Untersuchungen erfordern Präzisionsartikulatoren, die verlässlich die gefundenen Werte beliebig oft reproduzieren. Diese Präzision besteht einerseits in der Wahrung geringster Gerätetoleranzen und andererseits in der Permanenz.

Nachdem die gebräuchlichsten, semijustierbaren Artikulatoren vom Typ Dentatus, Whip-Mix, SAM auf ihre Vor- und Nachteile bezüglich ihrer Handhabung, ihrer Reproduzierbarkeit und Justierbarkeit verglichen worden sind (1) -

stellt sich die Frage:

Welche Verschleisserscheinungen weisen die Condylarbahnelemente der einzelnen Typen im praktischen Gebrauch auf.

Diese Frage ist umso bedeutender da betont werden muss, dass die semijustierbaren Geräte nur eine einzige Kieferbewegung exakt darstellen können - nämlich die Rotationsbewegung des Unterkiefers in der terminalen Scharnierachsenposition. Weder die volle Mundöffnungsbewegung kann exakt erfasst werden, noch die Lateralbewegungen und die Protrusionsbewegung. (2) Da es technisch noch nicht möglich ist die sigmoide Form der menschlichen Condylenbahn völlig zu reproduzieren, ist die Condylenbahn in den semijustierbaren Geräten näherungsweise durch eine Gerade ersetzt.

Tritt durch den täglichen Gebrauch ein Verschleiss der Condylarbahnelemente auf, dann wird davon auch die

Rotationsbewegung um die Scharnierachse betroffen und so die einzig exakte reproduzierbare Bewegung verfälscht. Es ist deshalb von entscheidender Bedeutung welcher Abrieb sich in den Condylarelementen nach einer bestimmten Zeit bei einer definierten Kraft entwickelt hat.

Problemstellung und Zielsetzung.

Die drei Artikulatortypen Dentatus, Whip-Mix, SAM besitzen bezüglich ihrer Condylarelemente materialtechnische Unterscheidungsmerkmale. Die Hersteller des Dentatus und des Whip-Mix verwenden metallegierte Condylarelemente, sowohl als Gelenkkopf als auch als Condylarbahnelement.

Die Anwendung von Metall auf Metall ist seit jeher problematisch, wenn man die Verschleisserscheinungen bei Trockenlauf betrachtet. Wie man aus der Technik weiss, haben metallgelagerte Gelenke ohne ausreichende Schmierung keine grosse Lebensdauer erzielt.

Deshalb wurde im SAM Artikulator erstmals die Verbindung Metall-Kunststoff gewählt. Diese Verbindung ist schon seit längerem aus der Automobilindustrie bekannt und findet dort als sogenanntes "Schmier- und wartungsfreies Gelenk" seine Anwendung.

Ohne auf die technischen Schwierigkeiten einzugehen, welche die Lagerart der Condylarelemente mit sich bringt, muss ein Punkt berücksichtigt werden, der einen wesentlichen Einfluss auf den Verschleiss besitzt - die Arbeitsbedingungen.

Da es unvermeidbar ist, dass der Artikulator mit Gips in Berührung kommt und bei Modellanalysen Gipsstaub entsteht, entwickelt sich ein verschleissfördernder Zustand. Besonders verschleissfördernd aber wirkt Porzellanstaub, der bei Schleifkorrekturen an keramischen Arbeiten entsteht.

Bei den metallgelagerten Typen - Dentatus und Whip-Mix - könnte eine leichte Fettung der Condylarelemente den Verschleiss senken.

Aus der Verbindung Fett und Schleifstaub aber entwickelt sich eine ideale Schmirgelpaste und erhöht so den Verschleiss, der doch durch die Fettung eigentlich vermindert werden sollte.

Diese Problematik kennt nur einen Ausweg: den Artikulator nach jedem Gebrauch sofort zu säubern und erneut zu fetten. Es ist einleuchtend, dass diese häufigen "Wartungsarbeiten" den täglichen Gebrauch komplizieren und deshalb die Suche nach geeigneteren Condylarbahnelementen geradezu in der Luft lag.

Diese Überlegung veranlasste den Hersteller des SAM-Artikulators ein "wartungsfreies" oder dementsprechend "pflegeleichtes" Condylarbahnelement zu bauen.

Durch die Verwendung des Werkstoff Polyamid als Condylarbahnelement soll eine Reduzierung des Verschleisses in den Condylarteilen erreicht werden.

Gegenstand dieser Untersuchung soll sein, nachzuweisen, ob es dem Hersteller des SAM Artikulator gelungen ist, diese Forderung zu verwirklichen.

Experimenteller Teil

1. Material und Eigenschaften.

Die Condylarbahnelemente des SAM-Artikulators bestehen aus 2 Teilen.

- a) einer Stahlkugel von 1 cm Durchmesser (Werkstoff C 25) die einer Oberflächenvergütung (Badnitrierung) unterzogen wurde. Die Dicke der oberflächengehärteten Schicht beträgt 4 - 5 μm .
(Abbildung: 1.1.)
- b) dem eigentlichen Condylarbahnelement, welches aus dem Kunststoff Polyamid 6.6 mit 35%igem Glasfasergehalt gefertigt ist. (Abbildung: 1.2.)

Die für diese Untersuchungen wichtigsten mechanischen Werte beider Materialien sind nachfolgend zusammengestellt. (3) (4)

a) Werte: Stahl (C 25)

Dichte: $\text{g/cm}^3 = \text{rd. } 7.8$ (bei 20°C)

Elastizitätsmodul: $\text{kp/mm}^2 = 21\ 000$

Zugfestigkeit $\text{kp/mm}^2 = 170$
(Druckfestigkeit)

Gleitreibungszahl gegen Stahl = 0.03 - 0.15 (trocken)

b) Werte: Kunststoff (Polyamid 6.6) mit 35% Glasfasergehalt (luftfeuchtes Material)

Dichte: $\text{g/cm}^3 = 1.40$

Elastizitätsmodul: $\text{kp/cm}^2 = 85\ 000$

Zugfestigkeit: $\text{kp/cm}^2 = 100\ 000$
(Druckfestigkeit)

Gleitreibungszahl gegen Stahl: 0.36 (trocken)
(gegen Stahl 2162 bei Rauhtiefe 2 μm ,
Flächendruck 0.5 kp/cm^2 , $v = 0.6 \text{ m/St}$ bei
 40°C in Lauffläche)

Untersuchungen über die Kaukräfte im Mund und ihre Wechselwirkungen sind hinreichend durchgeführt worden, bis heute weiss man aber nicht welche Kräfte bei der Simulation der Kieferbewegungen in einem Artikulator auftreten.⁽⁵⁾ So musste erst die Frage geklärt werden, welche Kraftentwicklung findet in den Condylenteilen bei der Simulation der UK-Bewegung statt.

Da die Auflagekraft als ein entscheidender, wenn nicht als der wichtigste Punkt für die Erstellung der Abriebsversuche betrachtet wird, galt es in Vorversuchen, diese Kräfte zu ermitteln.

2. Messartikulator

Ein SAM Artikulator (x) wurde konstruktiv so abgeändert, dass während der Simulation der Unterkieferbewegungen eine exakte Aufzeichnung der Kräfte, die in den Condylar-elementen auftreten, erreicht werden konnte (xx).

Der rückwärtige Teil des SAM Artikulators, der die beiden Condylarkugeln trägt, wurde gegen zwei Hohlzylinder ausgetauscht. In diese Hohlzylinder wurde passgenau ein weiterer Zylinder eingearbeitet, der oben die Original-Condylarkugeln des SAM Artikulators trug. Die Unterseite des Zylinders wurde zu einer Halbkugel ausgeformt. Die Hohlzylinder wurden mit zwei Langlochbohrungen versehen, die ihrerseits dazu bestimmt waren, zwei mit Messgebern bestückte Stahlbälkchen aufzunehmen. Vor den Langlochbohrungen in den Hohlzylindern wurde 2 cm entfernt ein Trägerblock zur Aufnahme der Stahlbälkchen befestigt. (Abb.: 1.3; 1.4; 1.4;) Die aus Dehnungsmesstreifen bestehenden Messgeber wurden auf die Ober- und Unterseite beider Stahlbälkchen geklebt. Dazu wurde ein entsprechender Messaufnehmer gebaut, der in einer Klimabox temperaturstabil untergebracht war. Über ein Spannungsmessgerät konnten die Werte abgelesen und über einen Analogschreiber sämtliche entstehenden Spannungsänderungen (proportional den Kraftänderungen) simultan aufgezeichnet werden.

(x) Von der Firma SAM-Präzisions GmbH freundlicherweise zur Verfügung gestellter Artikulator!

(xx) Der Umbau erfolgte am Institut für elektrische Messtechnik der Technischen Universität München

Berechnung der Empfindlichkeit des Messartikulators

$$\text{K-Faktor (Empfindlichkeit) des DMS: } K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} = 2.0$$

$$\begin{aligned} \text{Widerstandsmoment des Balkens: } W &= \frac{b h^2}{6} = \frac{7.5 \cdot 6.25 \text{ mm}^2}{6} \\ &= 7.81 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Biegemoment: } M_b = P \cdot l$$

$$\begin{array}{l} \text{Dehnung:} \quad \epsilon = \frac{M_b}{E \cdot W} \\ \text{(Stauchung)} \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Elastizitätsmodul von Stahl: } E &= 2.1 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2 \\ &= 2.06 \cdot 10^7 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta l}{l} = \epsilon(P) &= \frac{2.9 \text{ cm}^2}{2.06 \text{ N}} \cdot \frac{\text{cm}^2}{7.81 \text{ mm}^3} \cdot \frac{P}{10^7} \cdot \frac{\text{cm}^3}{10^{-3} \text{ mm}^3} \\ &= 0.18 \cdot 10^{-4} \frac{P}{N} \end{aligned}$$

Für Halbbrücke gilt:

$$U_a = U_0 \cdot 1/2 \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

$$U_a(P) = U_0 \cdot 1/2 \cdot 2 \cdot 0.18 \cdot 10^{-4} \frac{P}{N}$$

$U_0 \leq 3V$ wegen Eigenerwärmung

$$U_a = 0.54 \cdot 10^{-4} \frac{P}{N} \quad (\text{gilt für } U_0 = 3V)$$

$$\begin{aligned} \text{Empfindlichkeit: } \frac{U_a}{P} &= 0.54 \cdot 10^{-4} \frac{V}{N} \\ &= 0.054 \text{ mV/N} \\ &\hat{=} 0.53 \frac{\text{mV}}{\text{kp}} \end{aligned}$$

3. Vorversuch zur Ermittlung der Abriebskräfte

Da hinsichtlich der Artikulatorhandhabung durch Personen unterschiedlicher Ausbildung und Routine verschiedene Mess - ergebnisse zu erwarten waren, wurden die Probanden die an der Ermittlung der Werte teilnehmen sollten, in drei Gruppen eingeteilt.

1. Gruppe: Personen, die mit der Handhabung noch keine Erfahrung haben, z.B. Studenten im 1. vorklinischen Semester.
2. Gruppe: Personen, die mit der Handhabung des Artikulators und der entsprechenden Technik (Aufwachs-Technik) vertraut waren, aber keine besondere Routine entwickelt hatten, z.B. Studenten der klinischen Semester.
3. Gruppe: Personen, die mit der Handhabung routinemässig vertraut waren und auch die nötige Übung (Aufwachstechnik) aufzuweisen hatten, z.B. Techniker, Zahnärzte.

Jede Probandengruppe bestand aus drei Testpersonen. Es wurden von jeder Person folgende Bewegungen ausgeführt: Schliessen und Öffnen in zentraler Okklusion, Protrusionsbewegung, links- und rechts- Lateralbewegung. Die Reihenfolge dieser Abläufe wurde nicht bestimmt, sondern konnte vom Probanden in gewohnter Weise gehandhabt werden. Auch wurde kein Einfluss darauf genommen, ob der Proband die Simulationsbewegungen in der Hand ausführte oder ob er den Artikulator auf dem Tisch bediente.

Die Auswertung der Diagramme erfolgte im Hinblick auf die Summe aller Eigenschaften, ohne signifikante Einzelwerte

auszulassen oder überzubewerten. Deshalb wurde der mittlere Maximaldruck der drei Probandengruppen errechnet und verglichen.

Die Ermittlung des mittleren Maximaldrucks erfolgte durch Addition der Summe aller Einzelpeaks, dividiert durch die Peakanzahl pro Gruppe.

$$\text{Mathematische Darstellung: } \text{MMD} = \frac{n \sum p}{n}$$

MMD = mittlerer Maximaldruck

n = Anzahl der Peaks

p = Kraft in kp/cm^2

Die mittleren Maximaldrücke der drei Probandengruppen unterscheiden sich klar. Wobei gesagt werden muss, dass es hierbei nicht auf die Abstufung innerhalb der Gruppen ankam, noch sollte weder der Differenzdruck aus linkem und rechtem Condylus, noch die unterschiedliche Bedienung bezgl. der Einzelpersonen hier einer Bewertung unterzogen werden, sondern nur um die Festlegung einer oberen und unteren Grenzauflagekraft, die in den späteren Verschleissversuchen ihre Anwendung finden sollte.

Ergebnis der 1.Probandengruppe:

$$\text{MMD} = \frac{208.75}{142} = 1.47 \text{ kp/cm}^2$$

Der mittlere Maximaldruck (MMD) der 1.Gruppe ergibt eine durchschnittliche Kraftaufwendung von 1.5 kp/cm^2 auf den Condylus. Einzelpeaks haben dabei den Wert von 3 kp/cm^2 sogar überschritten. (Abb.: 2.1.)

Ergebnis der 2.Probandengruppe:

$$\text{MMD} = \frac{149.95}{119} = 1.26 \text{ kp/cm}^2$$

Der MMD der 2.Gruppe sank im Vergleich zur 1.Gruppe nur um 0.21 kp/cm^2 ab, doch die Verringerung der Einzelpeaks auf 1.5 kp/cm^2 war hier sehr auffällig. (Abb.: 2.2.)

Ergebnis der 3.Probandengruppe:

$$\text{MMD} = \frac{74.9}{153} = 0.49 \text{ kp/cm}^2$$

Der MMD der 3.Gruppe sank im Vergleich zur 2.Gruppe, nämlich um 0.77 kp/cm^2 wobei aber auch die 3.Gruppe Einzelpeaks von 1.5 kp/cm^2 verzeichnete. In den Maximalwerten gab es in dieser Beziehung keinen Unterschied zur 2.Gruppe. (Abb.: 2.3.)

Ohne gruppenspezifische Verhältnisse zu berücksichtigen, konnte folgende Tabelle mit den Auflagekräften für die Abriebsversuche zusammengestellt werden.

Auflagekräfte in p/cm^2 für Abriebsversuche:

1.Test 200 p/cm^2

2.Test 450 p/cm^2

3.Test 700 p/cm^2

4.Test 1450 p/cm^2

5.Test 2950 p/cm^2

Die Werte zu den Punkten 2 und 4 entsprechen den Werten der mittleren Maximaldrücke der einzelnen Probandengruppen.

Die Werte dieser Personen sind nicht repräsentant in Bezug auf eine andere Gruppenzusammenstellung, wohl aber in der Festlegung einer Obergrenze bei 1500 p/cm^2 und einer Untergrenze bei 400 p/cm^2 .

Die Werte 1. 3. und 5. liegen ausserhalb der ermittelten MMD und dienen zur Sicherstellung von Durchschnittswerten bzw. Extremwerten.

Vor allem der Wert Nr.5 mit rund 3 kg/cm^2 hat das realistische Mass überstiegen, denn wer mit so heftigem Druck arbeitet, wird während der Aufwuchsphase die Arbeit bei der Simulation der Unterkieferbewegung zerstören. Wachskonstruktionen, die noch nicht fertig modelliert sind, halten einem solchen Druck nicht stand.

4. Rauhtiefe

Ursprünglich sollte an dieser Stelle ein Vergleich zwischen den drei semijustierbaren Geräten vom Typ Dentatus, Whip-Mix, SAM durchgeführt werden. Da aber für diese Versuche eine sehr grosse Anzahl an Condylarelementen benötigt wurde - und diese aus Kostengründen nicht herbeschafft werden konnten - beschränkten wir uns auf einen Typ, den SAM Artikulator und liessen zum Vergleich zwei Whip-Mix Condylarelemente an dem Test teilnehmen.

Da die SAM Condylarteile nicht besonders für den Einbau in die Abriebsmaschine geeignet waren, wurde auf ein Polyamidplättchen (Abb.: 1.6.) gleicher Beschaffenheit übergegangen.

Da nicht sicher war, dass die Rauhtiefe der Plättchen mit der Rauhtiefe der Condylarelemente übereinstimmt, wurden vor Testbeginn 10 Plättchen und 5 SAM Condylarteile auf ihre Oberflächenbeschaffenheit geprüft und miteinander verglichen. Ebenso wurden die zwei Whip-Mix-Teile in den Test mit einbezogen.

Der Test bestätigte, dass erhebliche Unterschiede einerseits zwischen den Condylarteilen des Whip-Mix und SAM Artikulators und andererseits zwischen den Plättchen und den SAM Teilen festzustellen war.

Während die Rauhtiefe der Whip-Mixteile 5 - 10 μm betrug, hatten die SAM Teile eine Rauhtiefe von 35 - 40 μm .

Die Plättchen konnten mit derselben Empfindlichkeitsstufe des Messgerätes nicht mehr gemessen werden, da die Rauhtiefe den Messbereich überschritten hatte. (Messbereichsskala 50 μm) - Eine Beschreibung der Messgeräte und Messmethode erfolgt später bei der allgemeinen Darstellung des Abriebsversuches. -

5. Vorbehandlung der Versuchsteile

Diese, in einzelnen Testen unterschiedliche Rauhtiefe musste beseitigt werden, um näherungsweise eine gleiche Ausgangsbasis zu schaffen.

Die für diese Versuche ausgewählten Polyamidplättchen sind die Orbitalzeiger, wie sie in jedem SAM Artikulator zur Fixierung des Infraorbitalpunkts verwendet werden, mit den Massen: 10 x 59 x 6 mm (Abb.: 1.7.)

Die Polyamidplättchen wurden mechanisch geschliffen mit Sandpapier der Korngrößen 200 und 400. Die Rauhtiefe die die Polyamidplättchen jetzt aufwiesen, betrug 3 - 5 μm . Eine anschliessende Politur mit Bimstein und Schlämmkreide brachte keine weitere Absenkung der Rauhtiefe, da die Glasfaserpartikel die dem Kunststoff beigemischt sind in der Größenordnung 3 - 5 μm liegen. Diese Rauhtiefe war völlig ausreichend um eine gute Vergleichsbasis zu den Whip-Mixteilen herzustellen. (Abb.: 2.4.)

Eine Messung der Condylarkugeln vom SAM Artikulator als auch vom Whip-Mix Artikulator ergab eine Rauhtiefe von 0.5 - 1.0 μm . Ein Angleichen der Rauhtiefe war somit nicht notwendig.

6. Richtlinien zur Versuchsdurchführung

Somit waren gleiche Voraussetzungen gegeben und es konnte damit begonnen werden die eigentlichen Richtlinien für die Abriebsversuche festzulegen. Die Abriebskräfte wurden bereits in Vorversuchen ermittelt und werden nochmals aufgeführt.

1. Test 200 p/cm² Auflagekraft
2. Test 450 p/cm² Auflagekraft
3. Test 700 p/cm² Auflagekraft
4. Test 1450 p/cm² Auflagekraft
5. Test 2950 p/cm² Auflagekraft

Die Abriebsgeschwindigkeit wurde mit $v = 0.6 \text{ m/St}$ festgelegt. Sie wurde aus den technischen Abriebsversuchen für Polyamid 6.6 mit 35% Glasfasergehalt übernommen, da hierbei eine geringfügige Erwärmung der Laufläche zu verzeichnen ist, $T = 20^{\circ} \text{ C}$. Für die eigenen Versuche wäre die Versuchsanordnung zu kompliziert geworden, wenn eine Bestimmung der Temperatur innerhalb der Laufläche hätte erfolgen müssen.

Der Abrieb soll in dieser Untersuchung nicht in $\mu\text{m/km}$ gemessen werden, sondern in Bewegungseinheiten, da für den praktischen Gebrauch nur Messungen der täglichen Bewegungsrate angegeben werden können (z.B. 40 Bewegungen täglich).

Eine Bewegungseinheit (2 cm) entspricht der maximalen Protrusionsstrecke des Condylenteils im SAM Artikulator. Die Anzahl der abzuleistenden Bewegungen wurde willkürlich festgesetzt, aber so gewählt, dass irgendwann ein Verschleiss eintreten musste.

Anzahl der Bewegungen nach denen jeweils die Messungen ausgeführt wurden.

1. Nach 1 000 Bewegungen
2. Nach 10 000 Bewegungen
3. Nach 100 000 Bewegungen
4. Nach 1 000 000 Bewegungen

Nachdem alle für den Abriebstest wichtigen Daten aufgeführt worden sind, wird nun der Hauptversuch dargestellt.

Folgende Testreihen wurden mit je zwei Plättchen gefahren und anschliessend vermessen.

1. Testreihe

Abriebskraft:	200 p/cm ²	Messung nach 1000	Bewegungen
Abriebskraft:	450 p/cm ²	Messung nach 1000	Bewegungen
Abriebskraft:	700 p/cm ²	Messung nach 1000	Bewegungen
Abriebskraft:	1450 p/cm ²	Messung nach 1000	Bewegungen
Abriebskraft:	2950 p/cm ²	Messung nach 1000	Bewegungen

2. Testreihe

Der Verschleiss wurde mit den gleichen Auflagekräften ermittelt und nach 10 000 Bewegungen gemessen.

3. Testreihe

Der Verschleiss wurde mit den gleichen Auflagekräften ermittelt und nach 100 000 Bewegungen gemessen

4. Testreihe

Der Verschleiss wurde mit den gleichen Auflagekräften ermittelt und nach 1 000 000 Bewegungen gemessen.

Die Messungen des Abriebs wurden an drei verschiedenen Punkten durchgeführt. Die Abriebsstrecke betrug 2 cm, wobei je eine Messung 4mm vor den Wendepunkten und eine in der Mitte der Abriebsstrecke durchgeführt wurde.

Für die Abriebsmessungen der Polyamidplättchen und die analoge Aufzeichnung der Ergebnisse wurden folgende Geräte benötigt: (x)

- | | |
|---|---|
| 1. Messtisch: | Hommel/Mannheim |
| 2. Kreuzsupport: | x y: 1 U = 1 mm (Institutentwicklung)
Spurtreue (Lagerspiel) 1 μ m |
| 3. Messwertaufnehmer: | Gerhardt / Schwenningen -
passend für Mytron - R - Typ A |
| 4. Messgerät: | Mytron - R - Typ A
Messbereich 50 μ m (Vollausschlag)
Messfehler $\pm$ 3% (vom Endwert) =
rd 1.5 μ m |
| 5. x y - Schreiber: | Moseley / Pasadena
Autograph 2 D |
| 6. Konstanter: | Trygon-Elektronics
Modell: H H 7/4
Leistung: 4 A , 0 - 7 V |
| 7. Messpotentiometer: | Megatron 2510
W-Wert: 2 k Ω ; W - Toll: $\pm$ 3%
Lin: 0.3% |
| 8. Spannungsteiler:
(zum Abgleichen) | 2 cm entsprechen 10 μ m
(Institutentwicklung) |

Graphische Darstellung der Messanordnung Seite 32

(x) Die Geräte sind Eigentum des Instituts für Feingerätebau der Technischen Universität München.

8. Abriebsmaschine

In der Klinik und Poliklinik für zahnärztliche Prothetik stand bereits eine Abriebsmaschine aus anderen Versuchen zur Verfügung. Die Maschine wurde im Hinblick auf diese Versuchsreihe umkonstruiert und umgebaut.

Ein Schlitten, auf dem jeweils 5 Polyamidplättchen und ein Whip-Mixteil befestigt werden konnten, wurde von einem stufenlos regelbarem Motor über ein dazwischen geschaltetes Getriebe bewegt.

Sechs Hebel, die fest mit dem Grundgestell der Maschine verbunden waren trugen auf ihrer Unterseite die Original=Condylarkugeln, auf ihrer Oberseite konnten zusätzlich Gewichte aufgebracht werden. Die Hebel waren so eingestellt, dass während der Abriebsversuche sich eine Rille in der Mitte der Polyamidplättchen einschleifen musste. Am Wendepunkt war ein elektrisches Zählwerk befestigt, das nach jeder Auf- und Abbewegung eine Registrierung vornahm. Die Zählwerkskapazität konnte 9×10^5 Bewegungen aufnehmen. (Abb.: 1.8; 1.9.; 1.10.; 1.11.)

9. Versuchsüberwachung

Während der Abriebsversuche wurde nach jeweils 1 000 Bewegungen Lauffläche sowohl der Plättchen als auch der Kugeln kontrolliert und ein evt. Abrieb mit einem Luftbläser beseitigt.

Ein Test wurde dann abgebrochen, wenn ein Versuchsteil entweder Kugel oder Plättchen Verschleisserscheinungen bestimmter Grösse aufwiesen. So wurde die Kugel als zerstört angesehen, wenn durch den Abrieb eine plane Fläche von 2 mm^2 entstanden war. Das Plättchen wurde als zerstört betrachtet, wenn die Schliffrille eine Breite von 2mm erreichte.

10. Ergebnisse

Auswertung der Plättchen und der Whip-Mixteile nach
1 000 Bewegungen: (x)

A) Polyamidplättchen 6.6 mit 35% Glasfasergehalt

1. Test: 200 p/cm² mittlere max. Rauhtiefe: 5 µm
Erhöhung: keine
2. Test: 450 p/cm² mittlere max. Rauhtiefe: 5 µm
Erhöhung: keine
3. Test: 700 p/cm² mittlere max. Rauhtiefe: 5 µm
Erhöhung: keine
4. Test: 1450 p/cm² mittlere max. Rauhtiefe: 5 µm
Erhöhung: keine
5. Test: 2950 p/cm² mittlere max. Rauhtiefe: 5 µm
Erhöhung: keine

$$\text{Mittlere maximale Rauhtiefe (m . m . R .)} = \frac{\sum h}{n}$$

h = maximale Tiefe der Abrasionsrille

n = Anzahl der Versuche

Die dazugehörenden Condylarkugeln zeigten keinen messbaren Abrieb. (Abb.: 2.5. zu Test 1 mit Test 5)

B) Whip-Mix-Condylarbahnelement

Der Rest erfolgte mit einer Auflagekraft von 700 p/cm²

1. Teil: Maximale Rauhtiefe 15 µm Erhöhung 10 µm (Abb.: 2.6.)
2. Teil: Maximale Rauhtiefe 5 µm Erhöhung keine

Die dazugehörende Condylarkugel zeigte keinen messbaren Abrieb.

(x) Anmerkung: Die Messungen erfolgten am Institut für Fein-
gerätebau der Technischen Universität München

Anmerkung: Die Schliffrillen der beiden Bauteile zeigten eine unterschiedliche Färbung, während die Oberfläche der beiden Condylarteile eine annähernd gleiche, matte, aluminiumfarbene Oberflächenstruktur aufwies, hatte das 1. Teil eine messingfarbene Schliffrille, während die 2. Schliffrille in ihrer Farbe, verglichen mit der Oberfläche keine Änderung aufwies.

Die Nachforschung ergab, dass Teil Nr.1 aus einem Artikulator stammt, der schon längere Zeit im Gebrauch ist, während Teil Nr.2 aus einem erst jüngst erworbenem Artikulator entnommen wurde.

Die Auswertung der Plättchen und der Whip-Mixteile nach 10 000 Bewegungen:

A) Polyamidplättchen 6.6 mit 35% Glasfasergehalt

1. Test: 200 P/cm^2 m.m.R.: $5 \mu\text{m}$ - Erhöhung keine
2. Test: 450 P/cm^2 m.m.R.: $5 \mu\text{m}$ - Erhöhung keine
3. Test: 700 P/cm^2 m.m.R.: $6 \mu\text{m}$ - Erhöhung $1 \mu\text{m}$
4. Test: 1450 P/cm^2 m.m.R.: $15 \mu\text{m}$ - Erhöhung $10 \mu\text{m}$
5. Test: 2950 P/cm^2 m.m.R.: $25 \mu\text{m}$ - Erhöhung $20 \mu\text{m}$

Die dazugehörenden Condylarkugeln zeigten keinen messbaren Abrieb.

(Abb.: 2.7. zu Test 1 und 2; Abb.: 2.8. zu Test 3; Abb./2.9. zu Test 4; Abb.: 2.10. zu Test 5)

B) Whip-Mix-Condylarbahnelemente

1. Teil: Maximale Rauhtiefe 30 μm Erhöhung 25 μm

2. Teil: Maximale Rauhtiefe 16 μm Erhöhung 11 μm (Abb.: 2.1.1.)

Anmerkung: Die Messungen wurden nach 8500 Bewegungen durchgeführt, da eine Zerstörung der Condylarkugeln (plane Abriebsfläche $> 2\text{mm}^2$) eingetreten war.

Auswertung der Plättchen nach 100 000 Bewegungen:

Polyamid 6.6 mit 35% Glasfasergehalt

1. Test:	200 p/cm ²	m.m.R.	7 μm	Erhöhung	2 μm
2. Test:	450 p/cm ²	m.m.R.	11 μm	Erhöhung	11 μm
3. Test:	700 p/cm ²	m.m.R.	17 μm	Erhöhung	12 μm
4. Test:	1450 p/cm ²	m.m.R.	24 μm	Erhöhung	19 μm
5. Test:	2950 p/cm ²	m.m.R.	49 μm	Erhöhung	44 μm

Die dazugehörenden Condylarkugeln zeigten keinen messbaren Abrieb.

(Abb.: 2.12. zu Test 1; Abb.: 2.13. zu Test 2; Abb.: 2.14 zu Test 3; Abb.: 2.15. zu Test 4; Abb.: 2.16. zu Test 5)

Auswertung der Plättchen nach 1 000 000 Bewegungen:

Polyamid 6.6 mit 35% Glasfasergehalt

1. Test:	200 p/cm ²	m.m.R.	13 μm	Erhöhung	8 μm
2. Test:	450 p/cm ²	m.m.R.	18 μm	Erhöhung	13 μm
3. Test:	700 p/cm ²	m.m.R.	32 μm	Erhöhung	27 μm
4. Test:	1450 p/cm ²	m.m.R.	56 μm	Erhöhung	51 μm
5. Test:	2950 p/cm ²	keine Messung (da die Plättchen im Sinne der Definition zerstört waren)			

(Abb.: 2.17. zu Test 1; Abb.: 2.18. zu Test 2; Abb.: 2.19. zu Test 3; Abb.: 2.20. zu Test 4;)

Bei den dazugehörenden Condylarkugeln konnte folgender Abrieb gemessen werden:

1. Test: 200 p/cm² kein messbarer Abrieb
2. Test: 450 p/cm² kein messbarer Abrieb
3. Test: 700 p/cm² m.m.R. 1 µm
4. Test: 1450 p/cm² m.m.R. 1 µm
5. Test: 2950 p/cm² m.m.R. 10 µm (im Sinne der Definition zerstörte Condylarkugel)

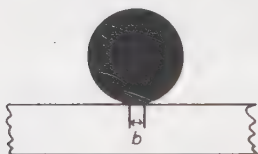
(Abb.: 2.21. zu Test 1; zu Test 2; zu Test 3; Abb.: 2.22 zu Test 4; Abb.: 2.23. zu Test 5)

Die graphische Zusammenstellung (Seite 34) zeigt wie der Verschleiss bei langer Betriebsdauer und zunehmendem Druck ansteigt.

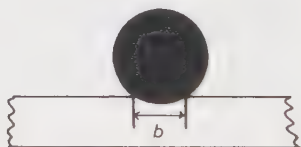
Diskussion:

Aus den beiden Graphiken geht klar hervor, dass der Verschleiss nicht linear ansteigt, sondern nahezu logarithmisch wächst. Die Erklärung ist, dass der Druck pro Fläche zu Beginn ungleich höher als zu Ende eines jeden Versuchs ist. Die Rille schleift sich mit zunehmender Dauer eines Versuchs immer weiter aus, wobei die Kugeloberfläche die die Rille berührt immer grösser wird und der Druck pro Fläche damit sinkt.

Versuchsbeginn



Versuchsende



Zeichnung:

Der Zusammenhang zwischen Spurbreite (Spurtiefe) und Kugeloberfläche bei plastischer Verformung.

Auch wenn ein direkter Vergleich zu den Whip-Mix-Condylarteilen mangels äquivalenter Untersuchungen nicht erlaubt ist, so darf folgendes Ergebnis nicht verschwiegen werden.

Beide Whip-Mix-Teile haben 10 000 Bewegungen nicht überstanden, ohne 1t. Definition dabei zerstört zu werden.

Einmal war der Abrieb des Condylarteils so gross (altes Teil), dass die Rille die definierte Breite überschritt, das anderemal war das Condylarelement so hart, dass sich die Kugel zerrieb.

Die Verwendung des Kunststoffs Polyamid 6.6 mit 35% Glasfaseranteil erscheint unter den gegebenen Voraussetzungen und Materialien die derzeit bestmögliche Lösung darzustellen.

Die Beurteilung welcher Abrieb in den SAM Condylarteilen noch hingenommen werden kann und welcher Abrieb zur Verfälschung registrierter Werte führt ist innerhalb einer Toleranzgrenze von 50 µm schwer zu beurteilen und bedarf weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen.

Eines kann aber mit Bestimmtheit ausgesprochen werden. Sobald die oberflächengehärtete Schicht der SAM Condylarkugel abgenutzt ist, setzt ein rapider Verschleiss der beiden Teile ein, ein Verschleiss der in der Wirkung und Schnelligkeit dem Verschleiss der Whip-Mix-Teile gleichzusetzen ist.

Aus praktischen Gründen empfiehlt sich die Condylarkugeln des SAM Artikulators von Zeit zu Zeit mit der Lupe (3 fach) auf Verschleisserscheinungen zu untersuchen. Diese sind relativ leicht zu erkennen, da unter der dunkelgrau mattglänzenden, oberflächengehärteten Schicht ein wesentlich helleres, silbrigglänzendes Gefüge sichtbar wird.

Bei täglicher Anwendung des SAM Artikulators und bei einer täglichen Bewegungsrate von 100 errechnet sich bei einem durchschnittlichen Druck von 1.5 p/cm^2 eine Lebensdauer von rund 25 Jahren, bis die Condylarteile ausgetauscht werden müssen. Dies ist ein rein rechnerischer Wert und soll nicht zu dem Gedanken verleiten, die SAM Condylarteile hielten unbegrenzt. Der Eingangs erwähnte und bei den praktischen Arbeiten unvermeidlich entstehende Gipsstaub und Schmutz tut sein Übriges zur Abnutzung und lässt den Faktor leicht um das zehnfache ansteigen.

Die Rauhtiefe der SAM Condylarbahnelemente lag mit rund $35 \text{ }\mu\text{m}$ fast **zehnmal** so hoch wie die Rauhtiefe der Whip-Mix-Elemente oder der behandelnden Polyamidplättchen. Und doch hat dieser erhebliche Unterschied nur einen geringen Stellenwert. Sämtliche Artikulatoren sind in der Zentrik justiert worden, unabhängig davon, welche Toleranzen die Einzelteile aufwiesen. Da die Lateralbewegungen und Protrusionsbewegung sowieso nur näherungsweise in semijustierbaren Artikulatoren erfasst werden können, spielen rund $40 \text{ }\mu\text{m}$ keine Rolle.

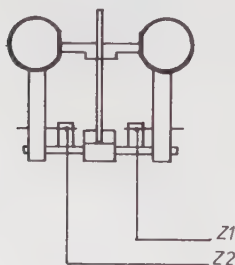
Zusammenfassung:

Der SAM Artikulator kann in der Reihe der semijustierbaren Artikulatoren in Bezug auf Condylarbahnabnutzung als ein verschleissresistenter und damit robuster Artikulator betrachtet werden.

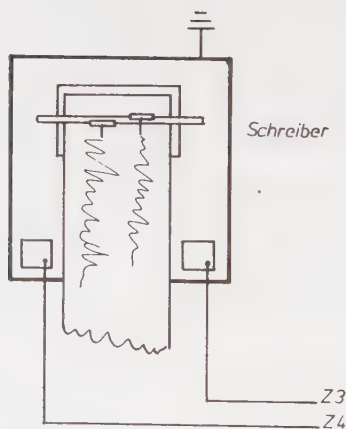
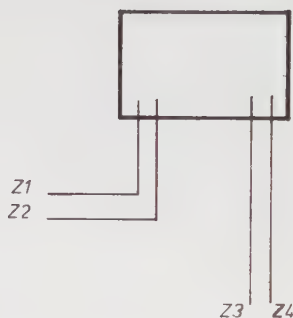
Der Vorteil den dieser Artikulator aufzuweisen hat ist sein geringer Verschleiss. Falls aus Unachtsamkeit etwas beschädigt wurde, so ist eine leichte Austauschbarkeit aller Teile und seine leichte Nachjustierbarkeit durch den Hersteller bedeutsam-.

Versuchsanordnung zur Messung der Abtriebskräfte (1.) Messplatzanordnung

Messartikulator



Messbrücke



Schreiberdaten: LINDSEIS 4 Kanalschreiber

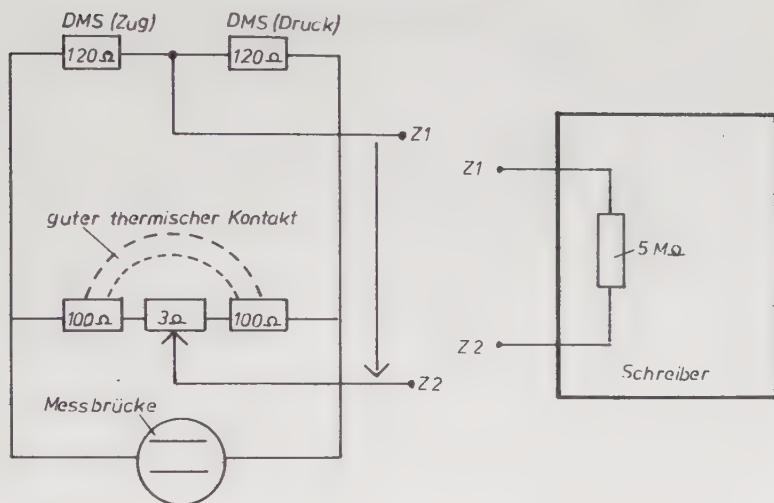
Messbereich: 1 mV = 250 mm

Eingangswiderstand 5 M Ω

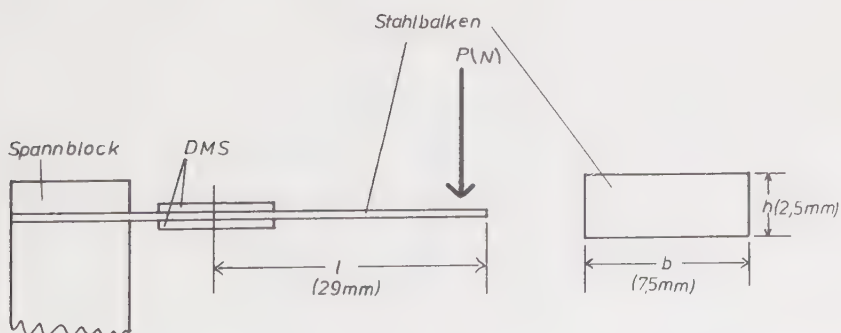
zul.Quellwiderstand 5 k Ω

Temperaturdrift des Nullpunkts rund 5 μ V/K

(2.) Elektrischer Schaltplan

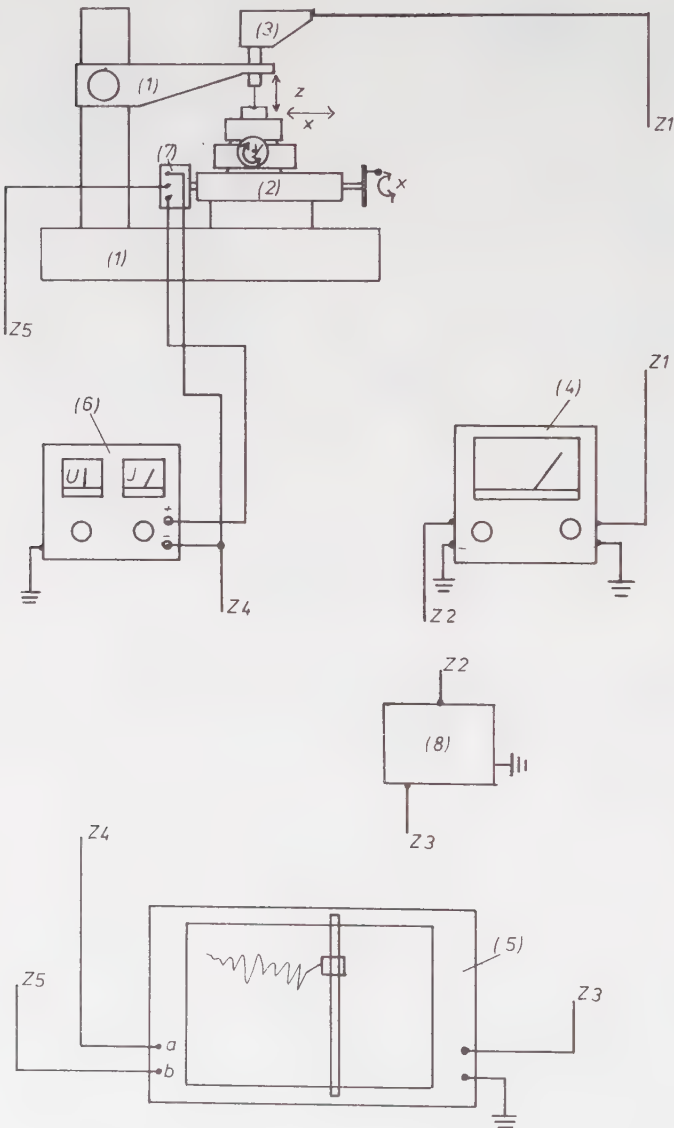


(3.) Lageplan des DMS und Dimension des Stahlbalkens

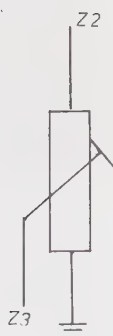
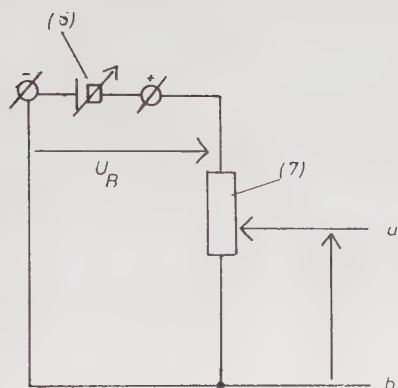


Versuchsanordnung zur Abriebsmessung der Polyamidplättchen

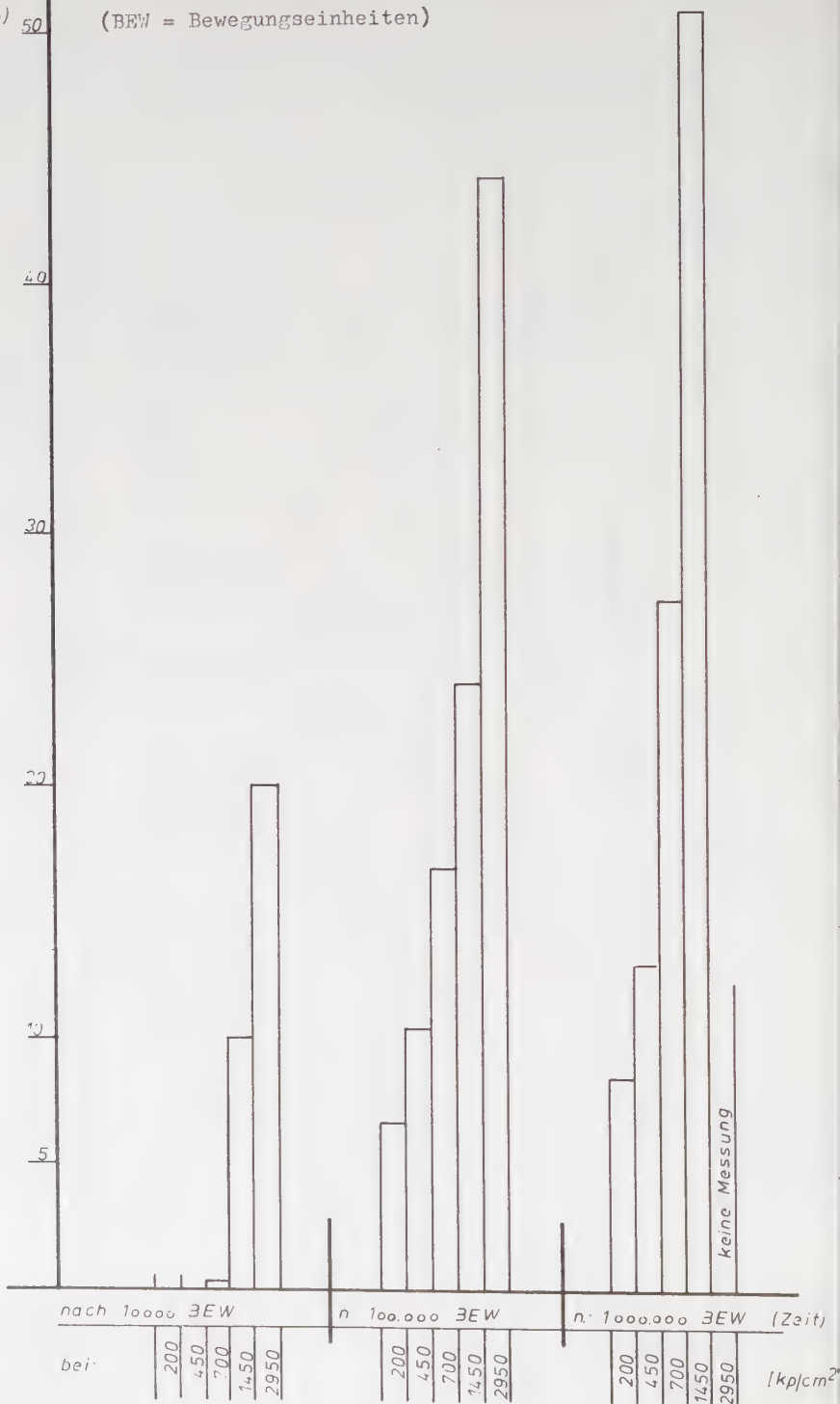
(1.) Messplatzanordnung



(2.) Elektrischer Schaltplan für Constanten, Potentiometer und Spannungsteiler



μm
 (Abrieb) 50
Abrieb in μm / BEW
 (BEW = Bewegungseinheiten)



Abriebszunahme in μm

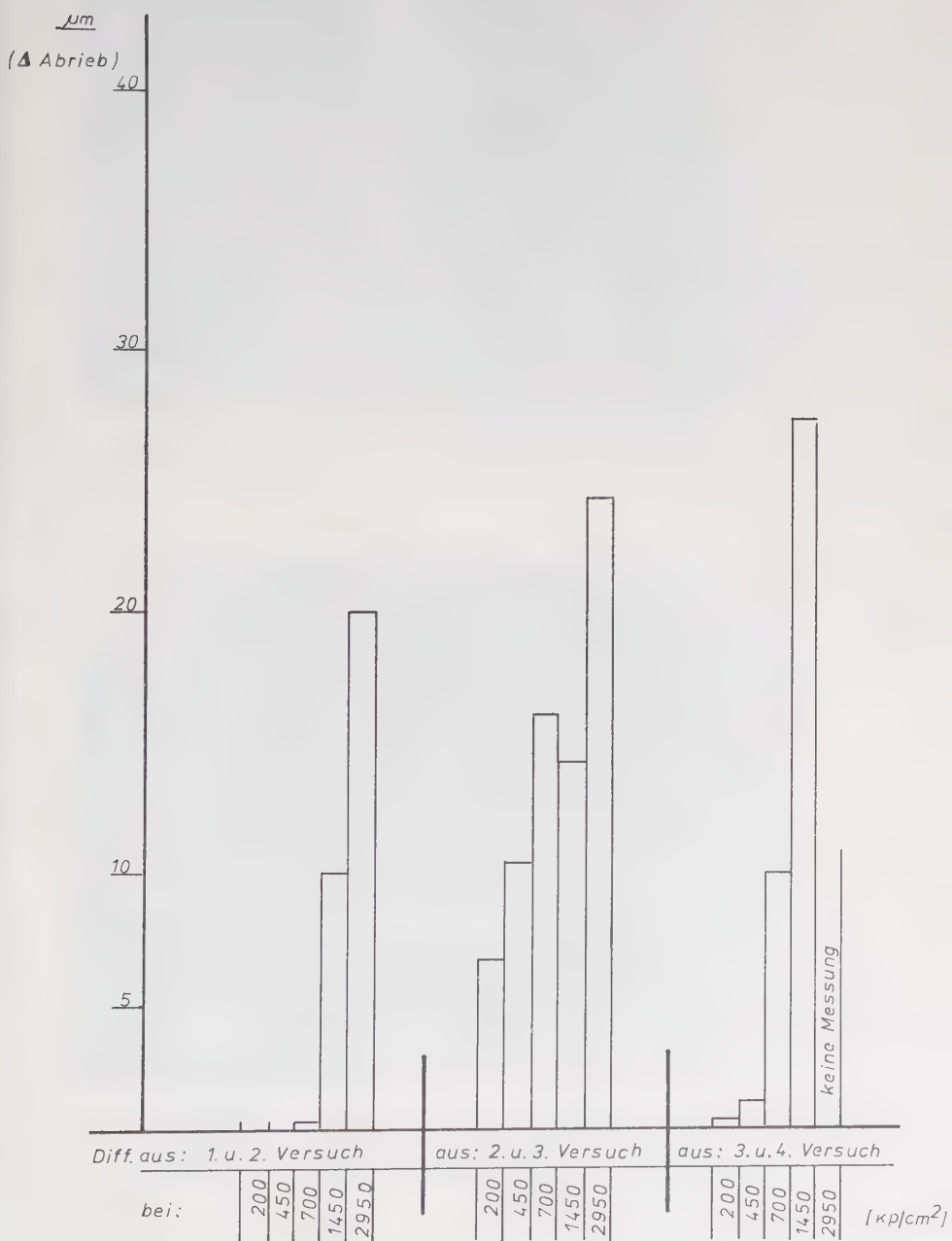




Abb.: 1.1.

SAM Condylarkugel

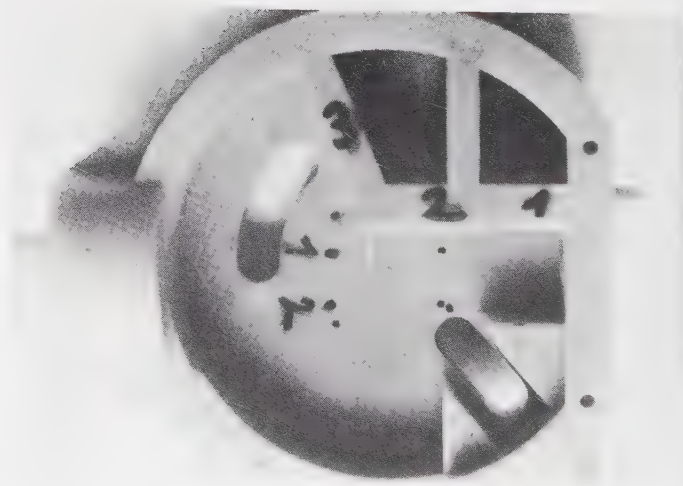


Abb.: 1.2.

SAM Condylarelement - Unterseite (Condylarkugelgleitfläche)

Anm.: Die Zahlen auf der Oberfläche stammen aus einem Vorversuch, um die Oberflächenbeschaffenheit des Condylarelements zu überprüfen.

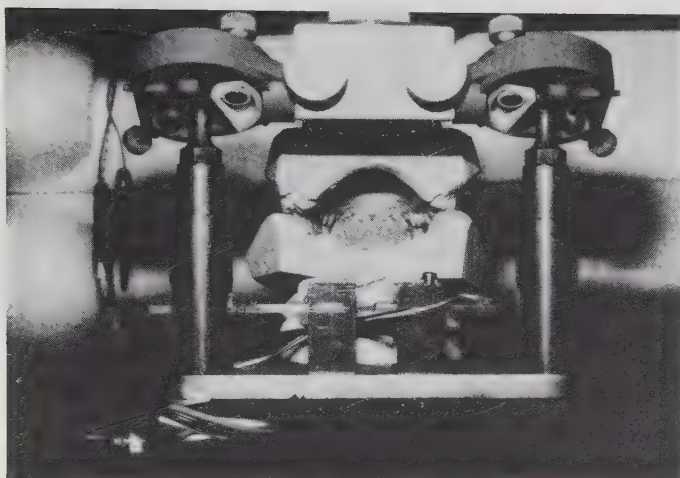


Abb.: 1.3.

Messartikulator - Rückansicht mit Oberteil

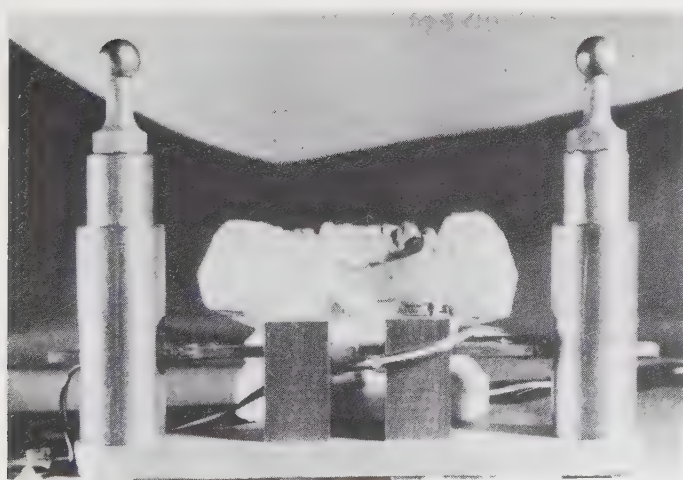


Abb.: 1.4.

Messartikulator - Rückansicht ohne Oberteil

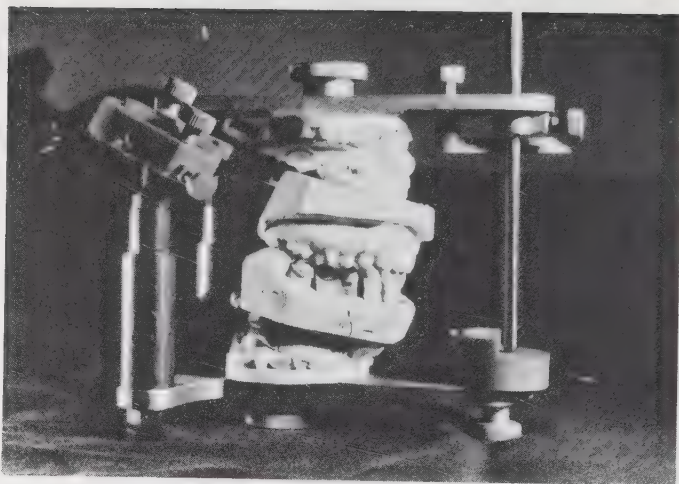


Abb.: 1.5.

Messartikulator - Seitenansicht mit Oberteil

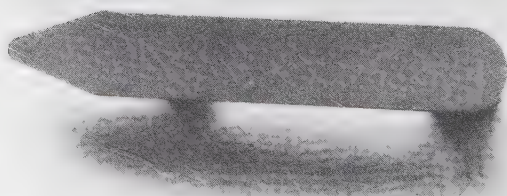


Abb.: 1.6.

1.7.

SAM - Referenzpunktzeiger und zugleich ober-
flächenbehandeltes Polyamidplättchen

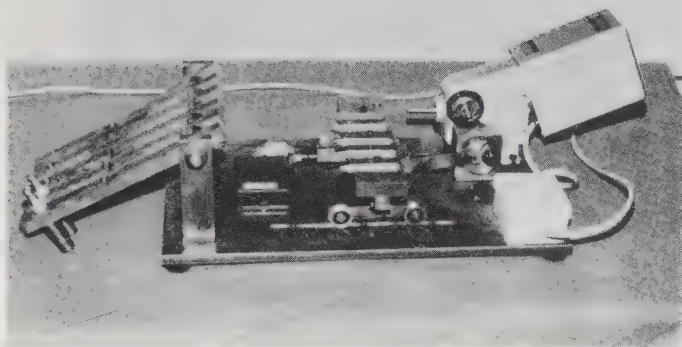


Abb.: 1.8.

Abrasionsmaschine mit zurückgeklappten Armen
und zwei eingeschraubten Condylarkugeln

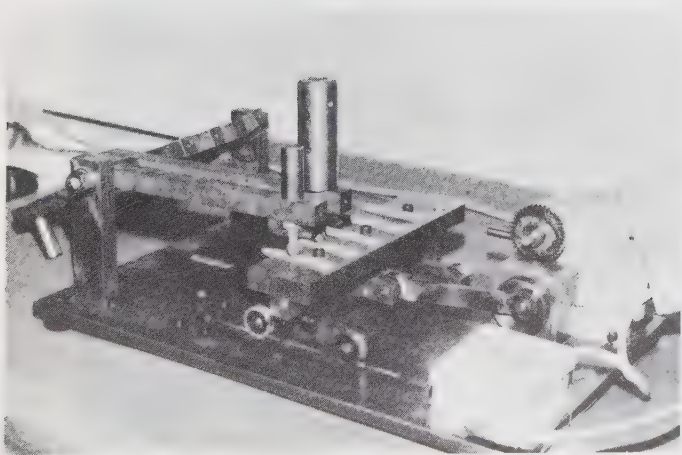


Abb.: 1.9.

Abrasionsmaschine - zwei Arme aufgelegt und mit
Gewichten beschwert.

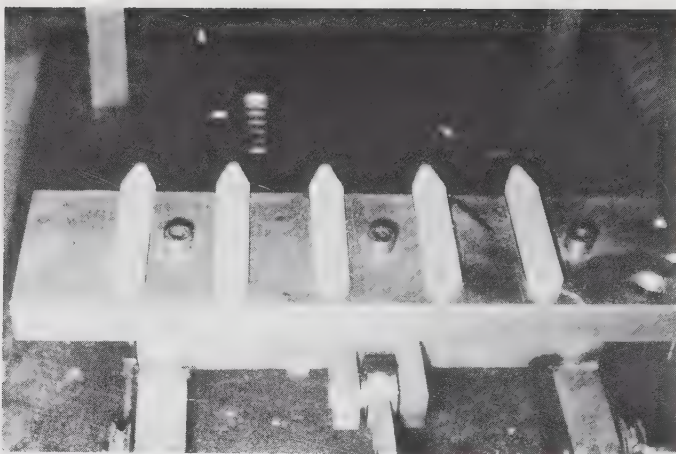


Abb.: 1.10.

Abrasionsmaschine - Schlitten mit eingespannten
Polyamidplättchen

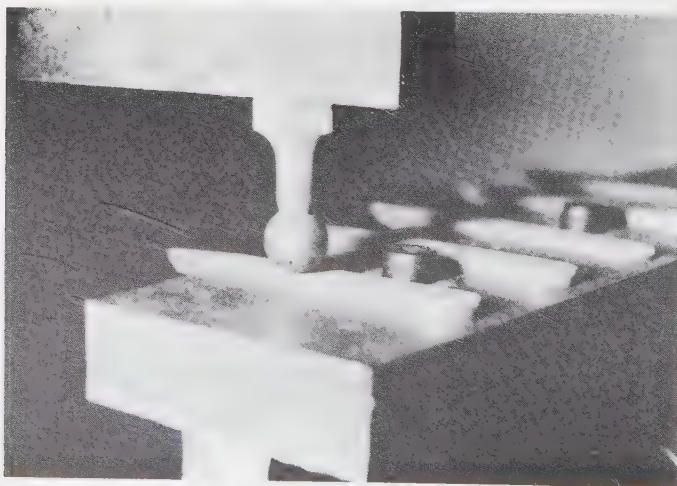


Abb.: 1.11.

Abrasionsmaschine - Schlitten mit Arm und Kondylar-
kugel

Bei den nachfolgenden Diagrammen handelt es sich um
Fotografien der original Schreiberdiagramme.!

22 - 9 - 76

Versuch: 1. Probandengruppe
Schulz

Freihändig

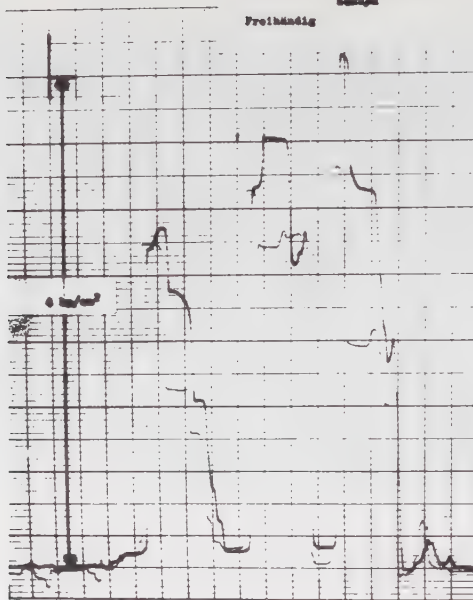


Abb.: 2.1.

6 - 10 - 76

Versuch: 2. Probandengruppe
Schulz/G.

Freihändig

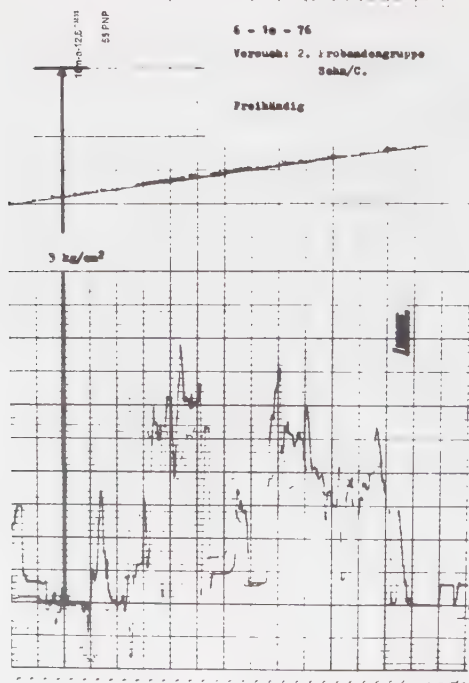


Abb.: 2.2.

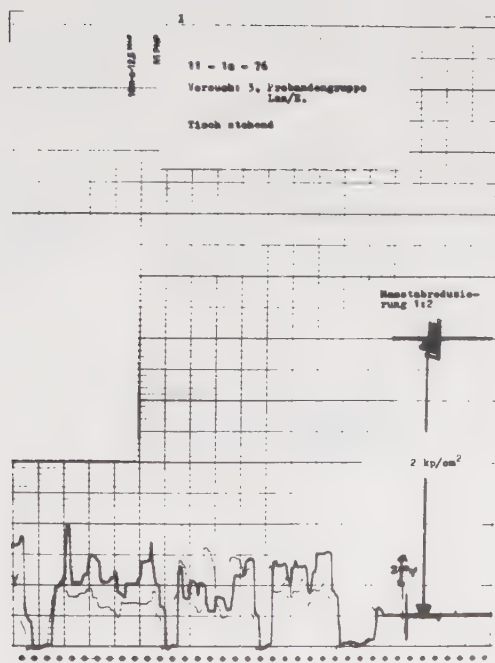


Abb.: 2.3.

Messung: nach 1000 BW 8-3-77
 $200 = 2950 \text{ g/cm}^2$
 (705/2950)

1. Messstrecke



2. Messstrecke



3. Messstrecke



Abb.: 2.4.
 2.5.
 2.7.

Messung nach 1000 BW 8-3-77
 200 g/cm^2
 (7/ 10/10)

Messstrecke 1



Messstrecke 2



Messstrecke 3



Abb.: 2.6.

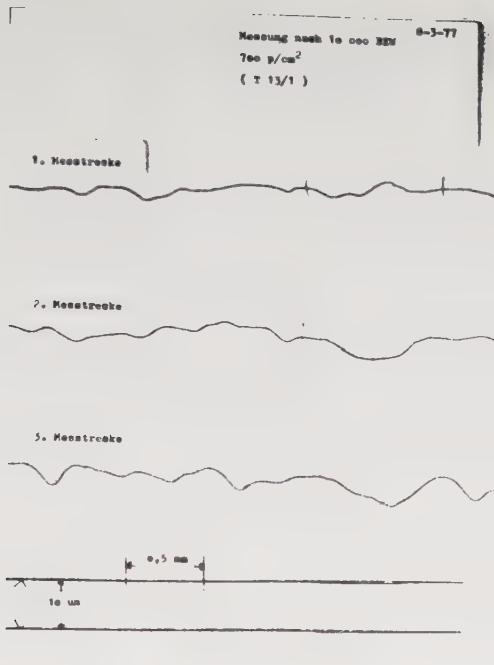


Abb.: 2.8.

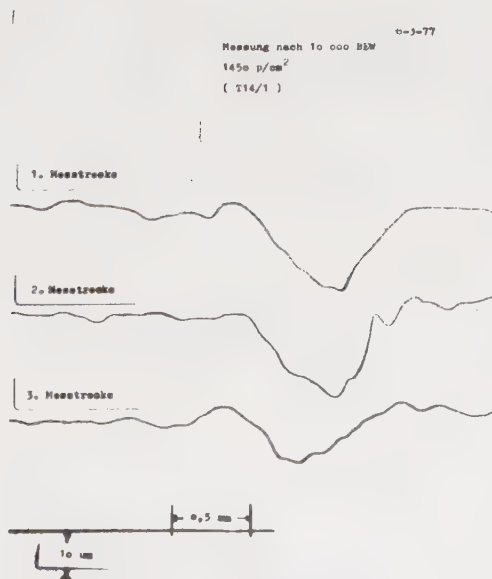


Abb.: 2.9.

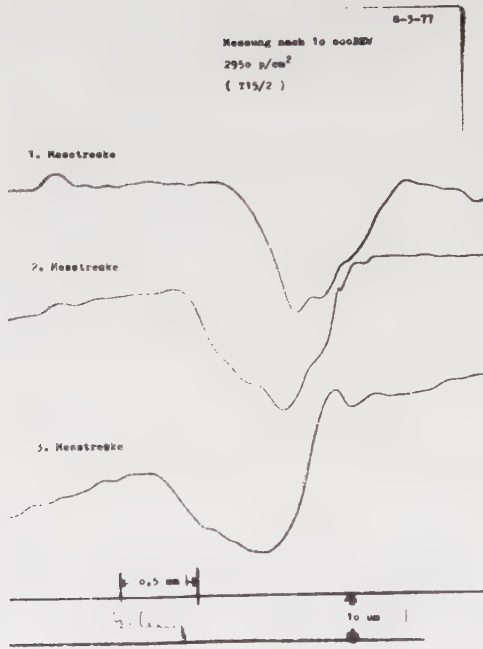


Abb.: 2.10

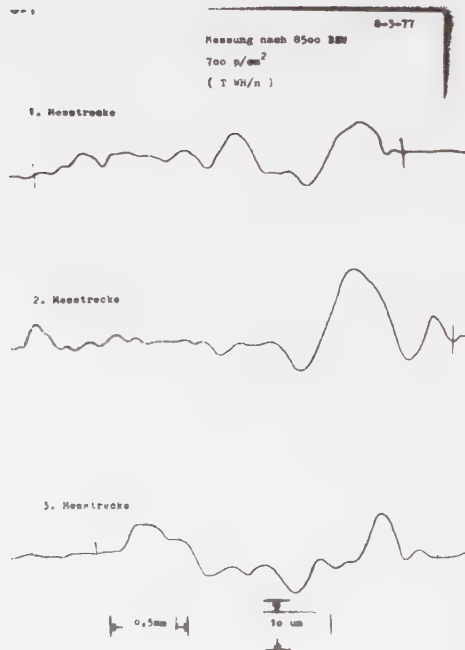


Abb.: 2.11.

9-3-77
Messung nach 100 000 BEM
200 p/cm²
(T 32/1)



Abb.: 2.12.

9-3-77
Messung nach 100 000 BEM
450 p/cm²
(T 31/1)

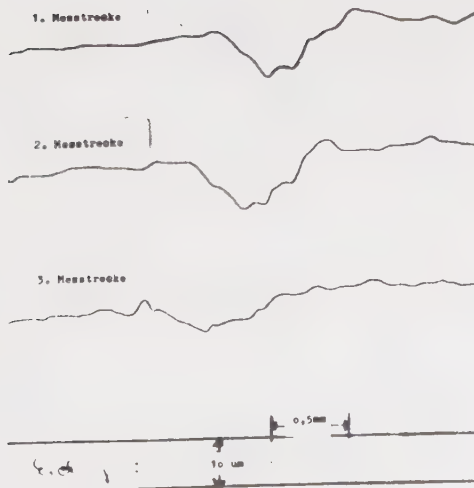


Abb.: 2.13.

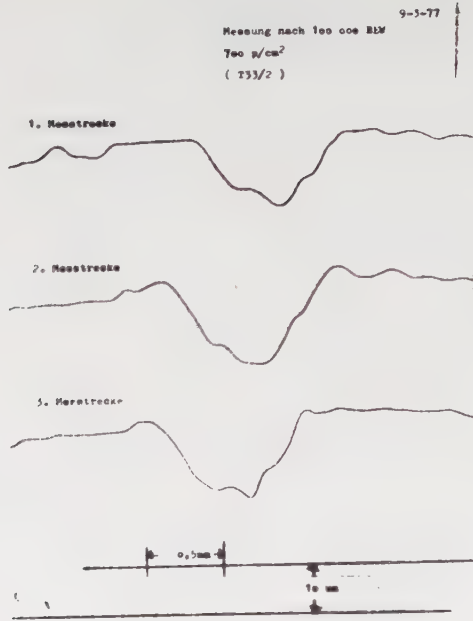


Abb.: 2.14.



Abb.: 2.15.

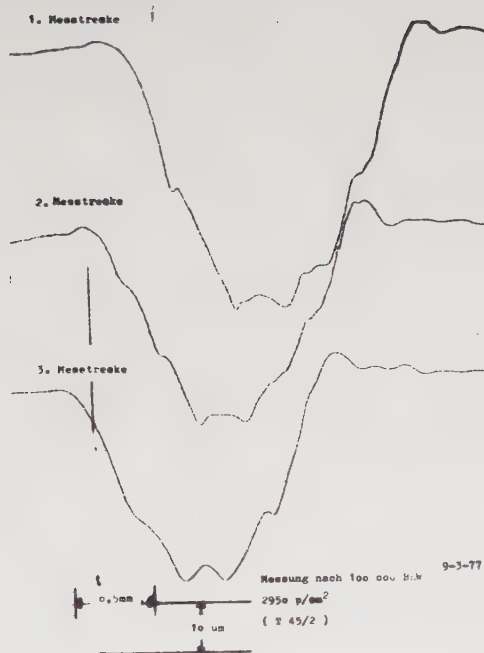


Abb.: 2.16.

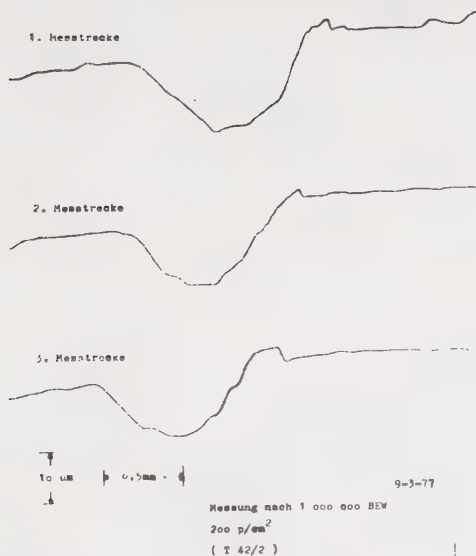


Abb.: 2.17.

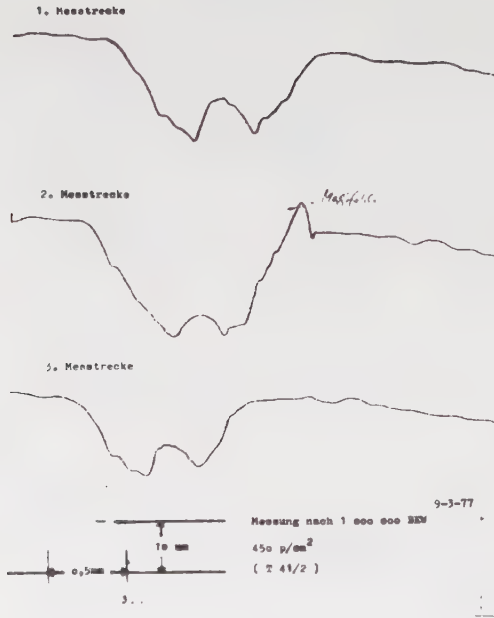


Abb.: 2.18.

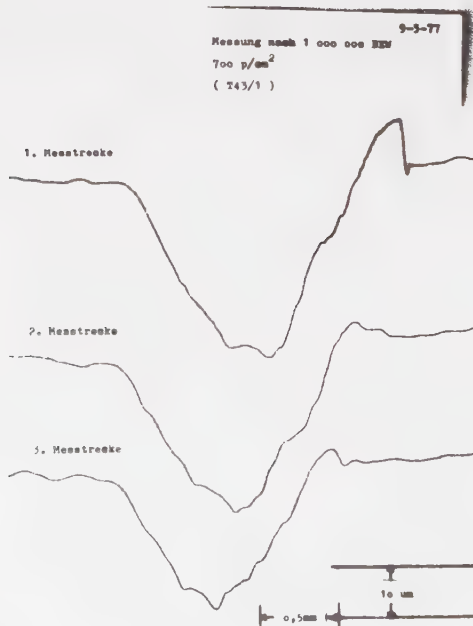


Abb.: 2.19.

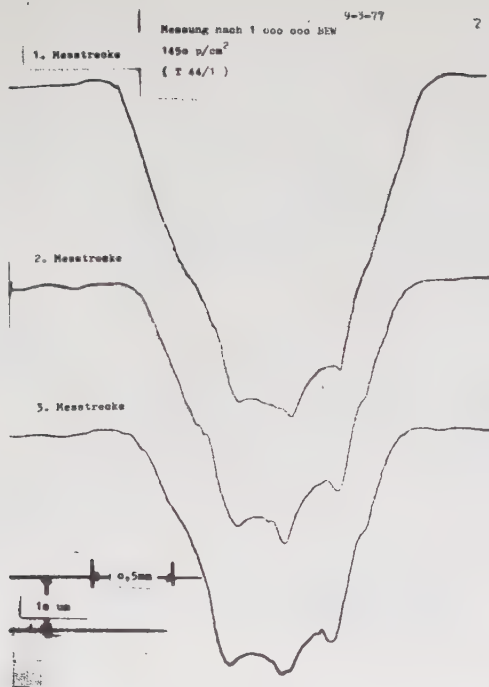


Abb.: 2.20.

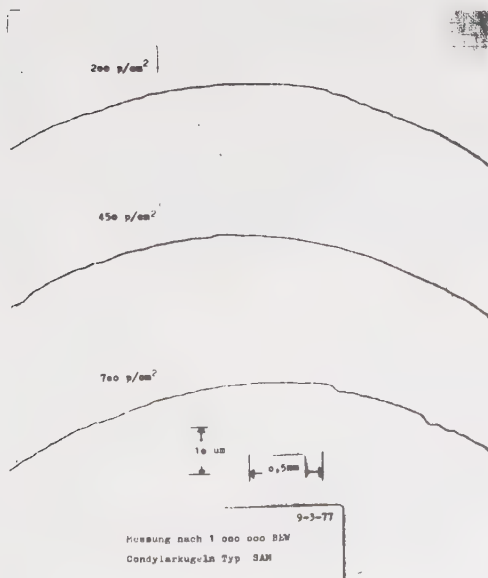


Abb.: 2.21.

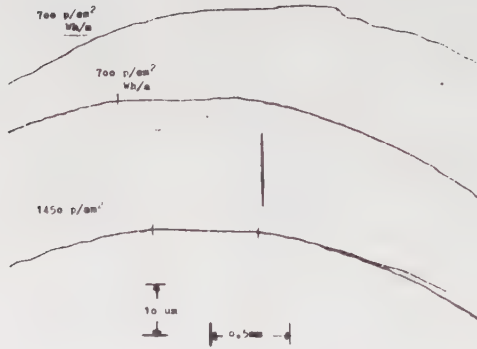


Abb.: 2.22.

1-5-77
 Messung nach Beobacht. für 1. und
 2. Kurve Condylarkugel ship 111
 Messung nach 1 000 000 b/w für
 3. Kurve Condylarkugel : AM

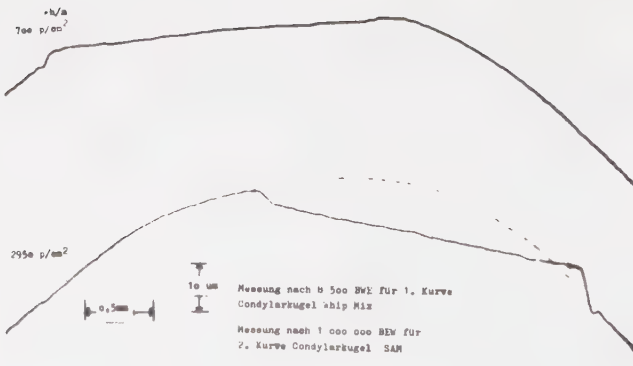


Abb.: 2.23

L i t e r a t u r :

- (1) Fuchs P.; Schubert R.; Springer O.

Experimentelle Untersuchungen über die
Reproduzierbarkeit von Artikulatormontagen
Dtsch.Zahnärztl.Z.Nr.31, S.730 (1976)

- (2) Geber A.

Die Bewegung des Unterkiefers und deren
Wiedergabe im Artikulator
Zahnärztl.Welt Nr.5; S.44 (1950)

- (3) Mende S.; Simon G.

Physik-Gleichungen und Tabellen
Verlag Wilhelm Heyne (1976)

- (4) Forster H.

Richtwerttabelle K 212 - 2
Thermoplastische Kunststoffe (1976)

- (5) Heners M.

Elektronische Untersuchung zur dreidimen-
sionalen Bewegung des Unterkiefers
Dtsch.Zahnärztl.Z. Nr.32; S.104 (1977)

Besonderen Dank möchte ich an dieser Stelle
Herrn Prof.Dr.Dr.Peter F u c h s
für die Überlassung des Themas aussprechen.

Ferner geht mein Dank an:
Herr Dipl.Ing.M e i e r
am Institut für elektronische Messtechnik an der
Technischen Universität München
für die Entwicklung des Messartikulators.

Herrn Dipl.Ing. W e i s s
am Institut für Feingerätebau der Technischen Univer-
sität München
für die mühevollen Zusammenstellung der verschiedenen
Messteile.

Herrn M a t u s c h k a - Werkstattleiter
in der Universitäts-Zahnklinik-München
für den Umbau der Abriebsmaschine und Fertigung
des Messartikulators.

Lebenslauf:

Am 25. September 1947 wurde ich - Claus Scheingraber - als Sohn des Zahnarztes Dr. med. dent. Hanns Scheingraber und dessen Ehefrau Anna Maria, geb. Haberl in München geboren. Von 1954 bis 1961 besuchte ich die Volksschule in München an der Gabelsbergerstrasse. 1961 trat ich in das Pestalozzi-Gymnasium über und legte im Juni 1969 das Abitur ab.

Nach einer dreijährigen Wartezeit - die ich mit der Erlernung des Zahntechnikerhandwerkes und als Krankenpfleger überbrückte - konnte ich im Wintersemester 1972/73 das Studium der Zahnheilkunde an der Universität München beginnen.

Abschluss des Zahnmedizinstudiums mit dem Staatsexamen nach dem Sommersemester 1977.

